

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Biologie



Alena Galertová

Stanovení energetického výdeje po dokončení cvičení silového a vytrvalostního charakteru

Determination of exercise post-oxygen consumption (EPOC) following resistance training, and aerobic exercise

Bakalářská práce

Školitel: PhDr. Miroslav Petr, PhD.

Praha, 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou závěrečnou práci zpracovala samostatně, a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. A dále také, že tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 2016

.....

Alena Galertová

Anotace:

Kyslíkový dluh splácený po dokončení intenzivní svalové činnosti odráží významné zapojení anaerobního metabolismu během cvičení. Některé studie uvádějí zvýšenou spotřebu kyslíku i po 24-48 hodinách po dokončení tréninku silového charakteru, naopak po činnostech s nižšími intenzitami (po aerobním cvičení) bývá spotřeba kyslíku zvýšena jen v řádu několika hodin. V běžné praxi, zejména při výběru nejvhodnější formy cvičení s cílem navýšení energetického výdeje u normální populace, obvykle není s tímto faktorem kalkulováno.

Klíčová slova:

EPOC, energetický výdej, anaerobní cvičení, aerobní cvičení, obezita

Anotation:

Oxygen debt repayment after completion of intense muscular activity reflects the significant involvement of anaerobic metabolism during exercise. Some studies have reported an increased oxygen consumption even after 24 to 48 hours after strength training, while after the activities of lower intensity (the aerobic exercise) is the oxygen consumption increased only in the order of several hours. In common practice, especially in the selection of the most suitable forms of exercise to increase energy expenditure in the general population, this part of an energy expenditure is not usually included.

Key words:

EPOC, energy expenditure, anaerobic exercise, aerobic exercise, obesity

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěla poděkovat PhDr. Miroslavu Petrovi, PhD. za cenné připomínky, odborné rady a trpělivosti při procesu zpracovávání této práce. Dále také za jeho poskytnuté informace, komentáře a ochotu komunikovat i přes to, že jsem nebyla osobně dostupná.

Také bych chtěla poděkovat Eastern Kentucky University a její universitní knihovny za poskytnutí potřebných zdrojů.

Obsah:

1 Úvod.....	7
2 Obezita.....	8
2.1 Genetická podmíněnost obezity.....	8
2.2 Rizika obezity.....	9
2.3 Klasifikace tělesného složení.....	10
2.3.1 BMI- Body mass index.....	10
2.3.2 WHR- Waist to hip ratio.....	11
2.3.3 BIA/BIS- Bioimpedance analysis.....	11
2.3.4 Měření tloušťky kožních řas.....	12
2.4 Možnosti redukce tukové tkáně.....	13
3 Energetický metabolismus.....	14
3.1 Bazální metabolismus.....	14
3.2 Pracovní metabolismus.....	15
3.2.1 Aerobní metabolismus.....	15
3.2.2 Anaerobní metabolismus.....	15
3.2.2.1 Vznik a odstranění laktátu.....	16
3.3 Respirační kvocient (RQ).....	16
3.3.1 RQ karbohydrátů.....	17
3.3.2 RQ tuků.....	17
3.3.3 RQ proteinů.....	17
3.4 Energetická bilance.....	17
4 Stanovení energetického výdeje.....	18
4.1 Kalorimetrická metoda.....	18
4.2 Tabulková metoda.....	18
4.3 Dotazníková metoda.....	19
5 Cvičení a výdej energie.....	19
5.1 Ventilační dluh.....	19
5.2 Příjem kyslíku a výdej energie.....	20
5.3 VO_2	21

5.4 Cvičení a výdej energie.....	22
5.4.1 Aerobní cvičení.....	22
5.4.2 Střední až těžké aerobní cvičení.....	23
5.4.3 Intenzivní anaerobní cvičení.....	23
6 Závěr.....	25
Seznam grafů.....	26
Seznam tabulek.....	26
Seznam použité a citované literatury.....	27

1 Úvod:

Celý můj život byl o tom být aktivní a věnovat se sportu. Ne kvůli tomu, že by mě k tomu rodiče vedli, ale sama od sebe jsem chtěla být fyzicky aktivní. Už od dětských let jsem chodila na rybník bruslit, lyžovat na hory, jezdit na kole a tak dále. Pak jsem jednou s rodiči v televizi koukala na atletiku a řekla jsem jim, že tohle je sport, kterému se chci věnovat. Začala jsem běhat, když mi bylo kolem devíti let, a běhám do dnes. Už to bude patnáct let, co se pravidelně (každý den) objevuji na stadionu. Atletika se brzy stala mým životem a obětovala jsem ji mnohé, od svého volného času s kamarády, po rodinné dovolené, na které jsem nemohla jet z důvodu závodu a různých soustředění. A stále si myslím, že to bylo nejlepší rozhodnutí, jaké jsem v životě mohla udělat. Atletika mě naučila spoustu užitečných věcí a vzala mě na spoustu zajímavých míst, i když to jediné, co jsem viděla, byl pouze stadion.

O trochu později, tedy na střední škole, jsem se rozhodla, že se chci věnovat vědě, a biologie mi šla nejlépe a také mě nejvíc zajímala. Poté, co jsem odmaturovala a rozhodovala se, na kterou školu jít, jsem se rozhodla jít na Přírodovědeckou fakultu University Karlovy. Po třech letech strávených studiem biologie, jsem zjistila, že mě to nejvíce láká k biologii člověka, anebo forenzní vědě.

Když přišel čas na vybírání bakalářské práce, tak jsem chtěla zkombinovat obojí- biologii a sport. Tak jsem se rozhodla zajít za vyučujícím z Fakulty Tělesné Výchovy a Sportu, který se mě ochotně ujal. On sám se před tím věnoval atletice a tak jsem doufala, že pochopí moji touhu o spojení biologie a sportu. Po naší konzultaci jsme se rozhodli pro toto téma, Stanovení energetického výdeje po dokončení cvičení silového a vytrvalostního charakteru, a zahájili jsme naši spolupráci. I když to trvalo déle, než jsme oba očekávali, kvůli mému dvouletému studiu na americké universitě, kvůli kterému jsem na dva roky přerušila školu na zdejší universitě.

Cílem této bakalářské práce se chci věnovat problému splácení kyslíkového dluhu po dokončení intenzivního cvičení. A zároveň porovnat energetické výdeje při různých typech zatížení- aerobní, či anaerobní cvičení. Porovnáváním spotřebovaného kyslíku během a po dokončení cvičení je dobrým ukazatelem celkově vydané energie. Tyto hodnoty se pak dají využít při vyhodnocení nejvhodnějšího typu cvičení ke snížení tukové hmoty těla.

2 Obezita:

Obezita je nyní velkým problémem, nejen v České republice, ale i po celém světě: Světová zdravotnická organizace (WHO) uvádí, že až miliarda lidí trpí nadváhou a 300 milionů lidí je obézní (Turconi, et. al., 2006). V evropském regionu obezita postihuje 5 - 36 % dospělých a nadváha dokonce 30 - 80 % dospělých. Prevalence obezity v Evropě se pohybuje v rozmezí 10 – 25 % u mužů a 10 – 30 % u žen, za posledních deset let se prevalence obezity v Evropě zvýšila o 10 – 40 % (Tsigos, et. al., 2008).

Lidské tělo je složeno z vody, bílkovin, tuků, sacharidů a minerálů. Když se tukové buňky zmnoží nebo zvětší nad obvyklou úroveň, tak může způsobit nadváhu a dokonce i obezitu. Obezitou se pak určuje stav těla, ve kterém je přirozená energetická rezerva jedince, která je uložena v tukové tkáni, vyšší než je stanovená normální úroveň pro daného jedince a poškozuje zdraví (Haslam, et. al., 2015).

Rodinný styl života může být příčinou obezity, hlavně tedy nezdravé stravování, dny strávené sledováním televizní obrazovky, sedavý způsob života, ale také vliv okolí typické pro moderní populaci (fast-food restaurace, kavárny, apod.) (Turconi, et. al., 2006). Je také ovlivněna interakcí mezi prostředím, chováním, vývojovými a genetickými faktory, které můžou způsobit až 40 – 70 % fenotypu obezity (Rojano-Rodriguez, et. al., 2016).

2.1 Genetická podmíněnost obezity:

Kogelman ve svém výzkumu uvádí, že obezita je komplexním zdravotním problémem, ve kterém genetika hraje důležitou roli (Kogelman, et. al., 2015). Jak nárůst tělesné hmotnosti, tak i její redukce jsou ovlivňovány interakcí genetických faktorů a faktorů prostředí. Tyto faktory buď přispívají k hromadění tuku a rozvoji obezity (obezitogenní faktory), anebo naopak rozvoji obezity brání (leptogenní faktory) (Hainer, 2011), tyto interakce mezi genetickými faktory a faktory okolí ztěžují určení jejich role v rozvoji obezity. Výzkum prokázal, že u dvojčat, adoptovaných dětí, a některých skupin populace je obezita až z 80 % determinována genetickými faktory. Například novorozené děti, které mají vyšší tělesnou váhu, se stanou obézními dospělými jedinci, pouze pokud aspoň jeden z rodičů je obézní. Nebo dítě s nadváhou, které má rodiče s normální váhou, má pouze malé riziko se stát obézním dospělcem (McArdle et. al., 2006). Podle Rishika De je epistáze, interakce genů, hodně důležitá u genetiky obezity. De také zveřejnil dvanáct genů, které jsou nejvíce spojovány s obezitou. Jsou to následující geny: FTO, MC4R, KCTD15, TMEM18, NEGR1, SH2B1, FAIM2, SEC16B, ETVS, BDNF, MTCH2, GNPDA2 (De, et. al., 2015).

Mezi tyto genetické faktory také patří interakce leptinu a leptinového receptoru. Leptin je hormon produkovaný adipocyty, a jeho koncentrace je přímo úměrná hmotnosti tělesného tuku. Hmotnost tělesného tuku je hlavně regulován leptinem v hypotalamu. Dostatečná koncentrace leptinu v krvi snižuje chuť k jídlu, zatímco jeho nedostatek chuť k jídlu zvyšuje. Účinnost leptinu je také závislá na funkčnosti jeho receptoru, který je kódován *LEPR* genem. Některé mutace *LEPR* genu byly zaznamenány hlavně u pacientů s nejvyšším stádiem obezity, anebo s poruchou stravování (Rojano-Rodriguez, et. al., 2016).

2.2 Rizika obezity:

S výskytem obezity je spojen i výskyt různých onemocnění. Vysoce rizikový z hlediska onemocnění je zejména androidní typ obezity. U androidního typu obezity dochází k ukládání tuku především v oblasti břicha a hrudníku. Androidní typ obezity je daleko více závažným faktorem pro vznik kardiovaskulárních nemocí, i metabolických poruch než je obecná obezita (Wiltink et. al., 2013). Zatímco druhým typem je gynoidní typ obezity, který je méně rizikovým typem obezity. U gynoidního typu dochází k ukládání tuku především v oblasti stehen a boků. Především ukládání tuků okolo vnitřností hraje největší roli u kardiovaskulárních onemocnění, obezity a depresí (Wiltink et. al., 2013).

Celkový přehled komplikací způsobených obezitou (Zápotocká, 2011):

- Metabolické komplikace- inzulinová resistance, Diabetes Mellitus 2 (DM 2), dyslipidémie, hyperurikémie.
- Endokrinní poruchy- hyperestrogenismus (důsledek zvýšené aromatizace androgenů v tukové tkáni), hyperandrogenismus u žen, hypogonadismus u mužů, hyposekrece růstového hormonu.
- Kardiovaskulární komplikace- hypertenze, ischemická choroba, arytmie, náhlá srdeční smrt, cévní mozková příhoda, tromboembolická nemoc.
- Respirační komplikace- syndrom spánkové apnoe.
- Gastrointestinální komplikace- gastroezofageální reflux, hiátová hernie, jaterní steatóza.
- Kožní komplikace- ekzémy, mykózy, strie.
- Psychosociální komplikace- deprese, úzkost a sociální diskriminace.
- Pohybový aparát- příliš vysoká zátěž kloubů a páteře, zejména kloubů dolních končetin, a z toho vedoucí špatné držení těla a s tím spojené bolesti pohybového aparátu.

2.3 Klasifikace tělesného složení:

Klasifikace složení těla je důležitá pro sledování obezity, výživového statusu, vhodného tréninku a všeobecného zdraví jedince. Hmotnost tuku a hmotnost části těla bez tuku je nejvíce užíváno k identifikaci nutričních požadavků těla a energetického výdeje (Moon, 2013).

Klasifikovat tělesnou kompozici lze několika způsoby:

2.3.1 BMI (Body mass Index):

Globálně se prevalence obezity je založena na hodnotách BMI, které poskytují hodnoty úrovně obezity. Především tedy hodnoty BMI vyšší nebo rovny 30. BMI je tedy poměr tělesné výšky a hmotnosti, což limituje jeho užitečnost jako indikátor ukládání tuku, protože se tu nepřikládá žádný důraz na rozdíly ve stavbě těla (Pasco, 2014).

Tato metoda se stala velmi oblíbenou hlavně kvůli její jednoduchosti, a počítá se touto rovnicí (Tamble, 2010):

$$\blacksquare \text{ BMI} = \text{hmotnost (kg)} / \text{výška}^2 (\text{m}^2)$$

BMI hodnoty v rozmezí 18,50 a 24,99 kg/m² je považováno za normální (Tamble, 2010).

Tabulka 1 – Klasifikace hodnot BMI (Pasco, 2014):

Věk (roky)	Podváha		Nadváha		Obézní	
	muži	ženy	muži	ženy	muži	Ženy
20-29	9,3	21,8	20,6	36,0	27,5	43,4
30-39	9,9	22,0	21,2	36,2	28,1	43,6
40-49	10,5	22,2	21,8	36,4	28,7	43,8
50-59	11,1	22,4	22,4	36,6	29,3	44,0
60-69	11,7	22,6	23,0	36,8	29,9	44,2
70-79	12,3	22,8	23,6	37,0	30,5	44,4
80+	12,9	23,0	24,2	37,2	31,1	44,6

Průměrné hodnoty specifické pro pohlaví a věk. 18,5 kg/m² (podváha); 25,0 kg/m² (nadváha); a 30,0 kg/m² (obézní) (Pasco, 2014).

2.3.2 WHR (Waist to hip ratio):

Obvod pasu (v cm) je obvykle měřen v polovině mezi nejspodnějším žebrem a nejvyšším bodu kosti kyčelní a přesně 1 cm pod pupkem (Tamble, 2010).

Obvod boků (v cm) je obvykle měřen v nejširším místě boků, a WHR je počítán pomocí této rovnice (Tamble, 2010):

$$\text{WHR} = \text{obvod pasu (cm)} / \text{obvod boků (cm)}$$

WHR hodnoty kolem 0,9 je u mužů považováno za normální (Tamble, 2010).

Pomocí hodnot WHR se určují dva typy distribuce tuku:

- Mužský: Androidní typ (viz výše)
- Ženský: Gynoidní typ (viz výše)

Tabulka 2 - Riziko kardiovaskulárních a metabolických komplikací podle obvodu pasu (Dennis et. al., 1993):

	Zvýšené riziko	Vysoké riziko
Muži	>94 cm	>102 cm
Ženy	>80 cm	>88 cm

2.3.3 BIA/BIS (Bioimpedance Analysis):

Bioimpedance se měří několika elektrickými proudy o různých frekvencích. BIA používá pouze jednu frekvenci, zatímco BIS používá kombinaci několika frekvencí. BIS je považován za nejlepší model pro odhad složení těla. Ale obě metody používají stejný systém - přístroj vyše elektrický proud skrze tělo. Přístroj je pak schopen vypočítat impedanci (Z), jinak známou jako odpor (R), a reaktanci (Xc) proudu. Toto je možné, protože buněčné stěny v lidském těle se chovají jako kondenzátor, a impedance elektrického proudu je závislá na jeho frekvenci. Při nízkých frekvencích (< 50 kHz), elektrický proud nemůže proniknout buněčnou stěnou. Takže nízké frekvence se používají k odhadu množství extracelulární vody. Vyšší frekvence (>50 kHz) dokážou proniknout buněčnými stěnami a může být tedy použit pro odhad intracelulárního objemu (Moon, 2013). A protože tučná hmota, včetně proteinů v tukové hmotě, obsahují většinu vody a vodivé elektrolyty těla, vodivost v těchto oblastech je daleko rychlejší než v oblastech bez tuku (Lukaski, 1987). Takže čím nižší je odpor (R) a proud putuje tělem rychleji, tím více tuku je obsaženo v daném těle.

2.3.4 Měření tloušťky kožních řas:

Součet kožních řas poskytuje ukazatel, jakým způsobem tělo tuk ukládá. Podkožní tuk odpovídá množství tuku přítomného v tukové tkáni. Ve skutečnosti 40 – 60 % tuku je uloženo pod kůží. Dané hodnoty kožních řas poskytují informace o ukládání tuku v místě měření a jeho distribuci v těle (Garrido-Chamorro et. al. , 2012).

Tloušťka kožních řas lze jednoduše změřit pomocí kaliperu (Garrido-Chamorro et. al., 2012), a měří se tak, že se kůže zřasí a chytne mezi palcem a ukazovákem, jemně se zatřepe, aby v té řase nebyly přítomny svaly, a zatáhne se směrem od těla, tak daleko, aby kaliper byl schopen tu řasu uchopit a změřit její tloušťku. Několikanásobné měření zvyšuje přesnost hodnot a tím i přesnější odhad složení těla (Lukaski, 1987).

Tabulka 3 – Průměrné hodnoty tloušťky kožních řas \pm standartní odchylka (Neves et. al., 2013):

	Průměrná hodnota tloušťky kožní řasy pro hodnoty BMI < 25	Průměrná hodnota tloušťky kožní řasy pro hodnoty BMI > 25	Průměrná hodnota tloušťky kožní řasy pro všechny hodnoty BMI
Triceps	4,82 \pm 1,56 5,04 \pm 2,13	6,57 \pm 2,50 6,80 \pm 2,33	5,41 \pm 2,10 5,63 \pm 2,35
Biceps	7,5 \pm 2,60 5,70 \pm 2,57	11,59 \pm 4,69 8,31 \pm 2,35	8,59 \pm 4,06 6,58 \pm 2,78
Pod lopatkou	2,27 \pm 0,64 9,36 \pm 7,39	3,45 \pm 1,29 15,74 \pm 7,61	2,57 \pm 1,70 11,52 \pm 8,03
Na hrudi	4,14 \pm 1,80 5,51 \pm 6,64	7,17 \pm 2,91 8,83 \pm 5,35	5,16 \pm 2,70 6,63 \pm 6,42
Na žebrech	5,28 \pm 2,34 6,07 \pm 3,26	9,83 \pm 3,93 8,77 \pm 3,59	6,82 \pm 3,67 6,98 \pm 3,60
Na bříše	9,38 \pm 4,54 12,59 \pm 7,12	15,73 \pm 5,40 21,73 \pm 8,66	11,53 \pm 5,69 15,68 \pm 8,80
Nad hrotem kosti kyčelní	7,48 \pm 4,17 6,57 \pm 3,03	11,62 \pm 5,12 9,93 \pm 3,07	8,88 \pm 4,91 7,71 \pm 3,43
Na stehně	7,22 \pm 2,48 5,99 \pm 2,63	8,89 \pm 3,25 8,15 \pm 2,66	8,13 \pm 3,04 6,72 \pm 2,82
Na lýtku	4,43 \pm 1,96 7,05 \pm 5,78	5,68 \pm 2,35 10,07 \pm 5,74	4,85 \pm 2,18 8,07 \pm 5,93

Mužské hodnoty | ženské hodnoty. A průměrné hodnoty tloušťky kožních řas pro hodnoty BMI větší než 25 kg/m² a nižší než 25 kg/m² (Neves et. al., 2013).

Upřesnění míst měření kožních řas (obrázek 1):

- Triceps- uprostřed mezi loketním a ramenním kloubem na zadní straně paže.
- Biceps- uprostřed mezi loketním a ramenním kloubem na přední straně paže.

- Pod lopatkou- pod lopatkou přibližně 1 cm pod dolním úhlem lopatky (angulus inferior).
- Na hrudi- přibližně 2 cm od podpažní jamky směrem k hrudní kosti.
- Na žebrech- pod paží na místě 8 žebra.
- Na břiše- vertikálně 1 cm od pupku.
- Nad hrotem kosti kyčelní- přibližně 2 cm nahoru od hrotu kosti kyčelní.
- Na přední straně stehna- uprostřed mezi kolenním a kyčelním kloubem na přední straně stehna.
- Na lýtku- na vnitřní straně lýtku, uprostřed mezi kolenním kloubem a kotníkem.
V místě kde lýtkový sval má svůj největší objem.

2.4 Možnosti redukce tukové tkáně:

V roce 1998 byly zveřejněny klinické pokyny pro nejvíce efektivní léčbu nadváhy a obezity. Výsledky této studie doporučuje tyto léčby (Delahanty, 2002):

1. Nízkokalorická dieta- může zredukovat průměrně až 8 % během 3 – 12 měsíců.
2. VLCD= very low-calorie diet- tedy dieta s velmi nízkým příjmem kalorií dokáže zredukovat váhu více než nízkokalorická dieta, ale pouze pro krátkodobý účinek. Po jednom roce držení této diety, úbytek váhy byl podobný jako u nízkokalorické diety.
3. Nízkotučná dieta- nízkotučná dieta bez přímé redukce přijatých kalorií pomohla zredukovat váhu. Ale nízkotučná dieta spojená i s omezením přijatých kalorií způsobila daleko větší úbytek tělesné váhy.
4. Fyzická aktivita- aerobní aktivita u obézních jedinců způsobila nízkou redukci váhy nezávisle na kalorickém příjmu.
5. Kombinace nízkokalorické diety a zvýšené fyzické aktivity- tento způsob způsobil větší redukci váhy než pouhá nízkokalorická dieta, či jen fyzická aktivita.
6. Víceúčelové strategie při redukci váhy jsou nejvíce účinné, hlavně úkony spojené s nejvyššími intenzitami jsou spojené s nejvyšší redukcí váhy.

Dalšími možnostmi, jak zredukovat tukovou tkáň a tělesnou hmotnost, je změna životního stylu. Od roku 1997 do roku 2003 byla provedena studie, která potvrdila, že dieta, tělesná aktivita, a dieta spojená s tělesnou aktivitou dokáže zredukovat riziko diabetu o 31 %, 46 % a 42% (Delahanty, 2002).

3 Energetický metabolismus:

3.1 Bazální metabolismus (BM):

Bazální metabolismus je definován jako celkový součet minimální aktivity všech tkáňových buněk těla za stálých podmínek (Henry, 2000). Lze jej také nazvat jako celkovou produkci tepla za stálých tělesných podmínek, která je úzce spojena se spotřebou kyslíku (Henry, 2000). Bazální metabolismus se tedy skládá ze dvou složek- z termického efektu (TEF) zkonsumovaného jídla a z fyzické aktivity. V podstatě bazální metabolismus je minimální množství energie potřebného k udržení normální funkce a homeostázy lidského těla. A je přímo úměrný tělesné hmotnosti- hlavně tělesné hmotnosti prosté tuku. TEF je energie, která je potřeba ke strávení a metabolizování zkonsumovaného jídla. Hodnota TEF obvykle zaujme 8 – 10 % celkového energetického výdeje za den (Hill et. al., 2013). V reálných klidových podmínkách je energetický metabolismus asi o 10 % vyšší a výrazně se zvyšuje při habituálních, pracovních a zejména sportovních činnostech (Heller et. al., 2011).

Bylo zjištěno, že bazální metabolismus je jednoduchou funkcí celkového povrchu těla, z čehož plyne, že když je povrch těla znám, bazální metabolismus lze spočítat. Povrch těla lze spočítat pomocí této rovnice (Henry, 2000):

$$A = W^{0.425} \times H^{0.715} \times 71.84$$

Kde A = povrch těla (cm²); W = hmotnost (kg) a H = výška (cm).

Bazální metabolismus se i značně liší mezi muži a ženami, kde ženy mají nižší hodnoty BM než muži. Pomocí bazálního metabolismu lze odhadnout energetickou potřebu těla. Pro tento odhad se používají tyto dvě rovnice (Henry, 2000):

1) První rovnice:

$$E = 92,0W^{0,73} + 0,1E + 10,88W + 236$$

Tato rovnice se používá pro 25 leté muže při standartních úrovních aktivity.

$$E = 85,5W^{0,73} + 0,1E + 7,25W + 133$$

Tato rovnice se používá pro 25 leté ženy při standartních úrovních aktivity.

2) Druhá rovnice:

$$E = 152W^{0,73} \text{ pro muže}$$

$$E = 123,4W^{0,73} \text{ pro ženy}$$

3.2 Pracovní metabolismus (PM):

Pracující svalové buňky, tak jako jiné buňky, potřebují energii k vykonání práce. Tato energie je uložena v chemických vazbách ATP (adenonintrifosfát), která je využita ke svalové kontrakci, ATP je rozštěpen na ADP (adenonindifosfát) a na Pi (fosfát) ($\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{Pi}$) (Scott, 2005). Pro opětovnou syntézu ATP je potřeba energie, která je získána přijímáním potravy- z karbohydrátů a tuků (Scott, 2005).

Energie vydaná fyzickou aktivitou je energie vydaná navíc k bazálnímu metabolismu a TEF, včetně cvičení, třesu, posturální kontroly a obecného pohybu. Je počítán násobením energetického výdeje dané aktivity časem stráveného konáním té aktivity. Takže člověk, který má velmi sedavý způsob života se značně okrádá o tuto část energetického výdeje (Hill et. al., 2013).

3.2.1 Aerobní metabolismus:

Aerobní způsob získávání energie je dominantní při tělesných aktivitách vytrvalostního charakteru trvajícího déle než 2 – 3 minuty. Úroveň aerobních schopností je ovlivněna dědičností (až z 80%). Aerobní schopnosti jsou limitujícím faktorem výkonnosti ve vytrvalostních disciplínách a o její úrovni nás informuje maximální spotřeba kyslíku ($\text{VO}_{2,\text{peak}}$) – což je maximální množství kyslíku přijaté organismem při zátěžovém testu se zátěží subjektivního maxima spojené s analýzou vydechovaných plynů při spiroergometrii (Jančík, et. al., 2006).

Biochemická reakce (Jančík,et. al., 2006):



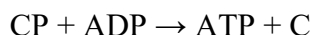
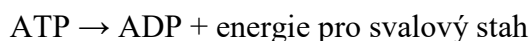
3.2.2 Anaerobní metabolismus:

Je charakterizován možností svalových buněk vykonávat mechanickou práci při využívání energie uvolněné bez přítomnosti kyslíku. Anaerobní zdroje energie jsou využívány především v situacích, kdy organismus není schopen zabezpečit dostatek energie efektivnějším aerobním způsobem (Jančík, et. al., 2006). V těchto případech vysoce intenzivních aktivitách ATP, CP a svalový glykogen jsou hlavními zdroji energie (Hargeaves, 2000). Podle převažujícího zdroje energie se anaerobní systém získávání energie, dělí se na způsob anaerobní alaktátový- energie je uvolněna z ATP (adenonintrifosfát) a CP (kreatinfosfát) bez účasti anaerobní glykolýzy a tvorby laktátu (ATP-CP systém); a způsob anaerobně laktátový, kdy je

energie získána z anaerobní glykolýzy s tvorbou laktátu (Jančík et. al., 2006). Při těchto aktivitách množství svalového ATP je obvykle spotřebováno pouze o 30 – 50 %, zatímco CP je zredukován úplně. Svalový glykogen je zredukován z 50 – 60 % v závislosti na intenzitě a době trvání dané aktivity (Hargeaves, 2000). Čím intenzivnější je aktivita, tím rychleji se spaluje ATP a tím více se využívá glukóza a glykogen k jeho regeneraci (Scott, 2005).

Štěpení karbohydrátů- glukózy a glykogenu- je spojen s aerobním i anaerobním metabolismem. Energie je uložena v chemických vazbách molekul glukózy a tato energie je uvolněna při jeho štěpení. Tento proces se nazývá glykolýza. Glykogen a jeho štěpení se nazývá glykogenolýza (Scott, 2005).

Biochemické reakce (Hargeaves, 2000):



3.2.2.1 Vznik a odstranění laktátu:

Anaerobní glykolýza a glykogenolýza může způsobit rychlou redukci pyruvátu za vzniku laktátu. Vzniklý laktát z anaerobního cvičení je pak transportován do jater, kde je opětovně regenerován na glukózu, nebo svalový glykogen, anebo alanin (aminokyselina). Tyto reakce potřebují energii, která je dodána hlavně aerobním metabolismem (Scott, 2005).

Ubývající množství vydané energie s přibývajícím věkem je většinou způsobeno ubýváním hmotnosti těla prostého tuku, která snižuje BM a TEF a energii vydanou fyzickou aktivitou (Hill et. al., 2013).

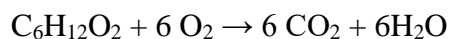
3.3 Respirační kvocient (RQ)

Respirační kvocient popisuje metabolickou směs metabolizující během odpočinku a cvičení pomocí plicní výměny plynů. Z důvodu rozdílného chemického složení karbohydrátů, tuků a proteinů je vyžadován rozdílný množství kyslíku k dokončení oxidace každého atomu uhlíku a vodíku na oxid uhličitý a vodu. Takže množství vyprodukovaného oxidu uhličitého na určité množství spotřebovaného kyslíku se liší podle typu oxidovaného substrátu (karbohydrát, tuky, proteiny). Respirační kvocient (RQ) je popsán touto rovnicí (McArdle et. al., 2006):

$$\text{RQ} = \text{CO}_2 \text{ produkovaného} / \text{O}_2 \text{ spotřebovaného}$$

3.3.1 Respirační kvocient pro karbohydráty:

Kompletní oxidace jedné molekuly glukózy vyžaduje molekuly kyslíku a vyprodukuje šest molekul oxidu uhličitého a vody (McArdle et. al., 2006):

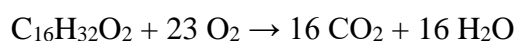


$$\text{RQ} = 6 \text{CO}_2 / 6 \text{O}_2$$

$$= 1,00$$

3.3.2 Respirační kvocient pro tuky:

Chemické složení tuků se liší od karbohydrátů, protože tuky obsahují daleko více atomů uhlíku a vodíku. Takže oxidace tuků vyžaduje daleko větší množství kyslíku ve vztahu produkce oxidu uhličitého, než jak je tomu u karbohydrátů (McArdle et. al., 2006):



$$\text{RQ} = 16 \text{CO}_2 / 23 \text{O}_2$$

$$= 0,696$$

3.3.3 Respirační kvocient pro proteiny:

Proteiny neoxidují na oxid uhličitý a na vodu během energetického metabolismu těla. Místo toho játra odstraní aminy z aminokyselin. Tělo poté vylučuje tento dusík a síru močí, potem a výkaly. Zbývající keto kyseliny jsou pak oxidovány na oxid uhličitý a vodu. Tato reakce a kompletní oxidace proteinů vyžaduje daleko více kyslíku k produkci oxidu uhličitého. Protein albumin oxiduje takto (McArdle et. al., 2006):



$$\text{RQ} = 63 \text{CO}_2 / 77 \text{O}_2$$

$$= 0,818$$

3.4 Energetická bilance

Koncept energetické bilance je založený na termodynamických zákonech, kde energie nemůže být zničena, a může být tedy pouze přijata, ztracena, nebo uložena organismem. Lidé přijímají energii ve formě jídla a pití, a výdej energie je prostřednictvím bazálního metabolismu (BM), a navýšením metabolismu praktikováním různých činností.

Jak už bylo řečeno na začátku této práce, obezita a nadváha se globálně zvyšuje. Aby se udržela stabilní tělesná váha, energetický příjem musí být roven energetickému výdeji. Tato rovnováha mezi příjmem a výdejem se nazývá energetickou bilancí (Hill et. al., 2013).

Obezita se pak vyskytuje v případech, kdy je energetická bilance pozitivní, tedy když energetický příjem je vyšší, než je jeho výdej. Lidská fyziologie je zaujatá na udržení energetické bilance při vysokých energetických příjmech a výdejích. Proto je důležité při boji s obezitou se hlavně soustředit na zvýšení fyzické aktivity společně s úpravami jídelního stylu. Porozuměním energetické bilance vede k lepší prevenci přibývání na váze než poté léčení obezity (Hill et. al., 2013).

4 Stanovení energetického výdeje:

Přesné stanovení energetického výdeje je důležitým krokem k prevenci obezity. Nedostatek pohybu je celosvětově čtvrtým nejčastějším důvodem smrti a chronických chorob jako je obezita, inzulinová resistance, či diabetes 2. typu (Casiraghi et. al., 2013). Přímé a přesné stanovení energetického výdeje lze provádět jen v kalorimetrických komorách, kde se měří zároveň jak spotřeba kyslíku (VO_2) tak i tvorba tepla (Heller et. al., 2011).

4.1 Kalorimetrická metoda:

Obvykle klidový energetický výdej a celkový energetický výdej je měřen pomocí nepřímé kalorimetrie (Casiraghi et. al., 2013), která stanovuje množství energie vydané při tělesném zatížení na základě zjišťování spotřeby kyslíku (Heller et. al., 2011). Nepřímá kalorimetrie je daleko jednodušší metodou, než je přímá kalorimetrie při odhadu biologického tepelného výdeje. Aerobní výdej energie zaujímá velký podíl, ale celkový výdej energie může být značně podceňován (Scott, 2005).

Množství spotřebovaného kyslíku se dá změřit v uzavřeném prostoru, bez spojení s venkovní atmosférou (tzv. měření v uzavřeném prostoru), anebo testovaný jedinec dýchá atmosférický kyslík a spotřeba kyslíku se stanovuje na základě analýzy vydechovaného vzduchu (tzv. měření v otevřeném prostoru) (Heller et. al., 2011).

4.2 Tabulková metoda:

Tato metoda se využívá spíše pro určení energetického výdeje té dané aktivity, který trvá kratší časový úsek. Touto metodou lze určovat energetický výdej v jednotlivých tréninkových jednotkách. Z výsledků energometrie byly sestaveny tabulkové hodnoty energetické náročnosti jednotlivých činností, které vyjadřují tuto náročnost v % náležitého bazálního metabolismu. Výpočet celkové energetické náročnosti se rovná součinu energetické náročnosti, doby trvání zatížení a hmotnosti sledovaného jedince [$\text{kJ} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$] (Heller et. al., 2011).

4.3 Dotazníková metoda:

Slouží především k dlouhodobějšímu sledování (dny, týdny) aktivit jedince, provádí je buď pozorovatel, nebo sama vyšetřovaná osoba. Do dotazníků se z pravidla zaznamenávají údaje o typu, době trvání a intenzitě prováděné aktivity. Pro zjednodušení a standardizaci záznamů různých činností s obdobnou energetickou náročností byla vytvořena 7 či 8 stupňová škála (Heller et. al., 2011).

Tabulka 4 – Systém kódování (1-8) intenzit pohybových činností (Heller et. al., 2011):

Aktivita	% BM
Kód 1 = spánek	110
Kód 2 = bdělý stav vleže, klid vsedě	120
Kód 3 = sezení nebo stání, drobné ruční práce	150
Kód 4 = mírná intenzita, pomalá chůze, domácí práce, doprava vstojе	300
Kód 5 = malá intenzita, rychlá chůze, chůze do schodů, společenský tanec	500
Kód 6 = střední intenzita, stolní tenis, odbíjená, gymnastika	800
Kód 7 = větší intenzita, mírný běh, cyklistika, pádlování	1000
Kód 8 = velká intenzita, košíkový, kopaná, posilování	1200

Jednoduché metody stanovení pracovního metabolismu a výdeje energie využívají funkční parametry, které vykazují k výdeji energie, resp. spotřebě kyslíku při zatížení těsný vztah a lze je snadno monitorovat. Například vzestup srdeční frekvence nebo plicní ventilace při zatížení vykazuje těsnou závislost na spotřebě kyslíku. Spotřebu kyslíku [$l \cdot \text{mon}^{-1}$] lze převést na výdej energie [kJ] pomocí energetického ekvivalentu pro kyslík (spotřeba 1 litru kyslíku odpovídá energetickému výdeji dle intenzity zatížení cca 20,3 – 20,8 kJ) (Heller et. al., 2011).

5 Cvičení a výdej energie:

5.1 Ventilační dluh:

Při práci dochází k lepší, rovnoměrnější distribuci vzduch, dýchá se větší částí plic, zvyšuje se alveolární ventilace a také jejich perfuze. Současně se i zrychluje krevní oběh, který se v plicním řečišti při zátěži může zvýšit až dvojnásobně. Na začátku činnosti v plicním řečišti vzniká vazokonstrikce, později ale dochází k vazodilataci. Při zátěži také dochází ke zlepšení plicní difúze, příčinou je větší rozpinání alveolů s vytvořením tenčí alveolární membrány,

která umožňuje jednodušší průchod kyslíku skrze membránu a efektivnější okysličování krve (Heller et. al., 2011).

Množství kyslíku ve vydechovaném vzduchu se vyjadřuje procentuálním úbytkem z vdechovaného vzduchu atmosférického. V klidu tento úbytek činí 3 – 4 %. Na začátku práce se přechodně zvýší na 5 – 8 % a poté se ustálí na hodnotách nižších, 4 – 5 %. Při velmi intenzivních aktivitách se může naopak snížit pod klidovou hodnotu (2 – 3 %), což se vysvětluje při vysokých dechových frekvencích a sníženou alveolární ventilací. Při práci se difúzní kapacita plic zvýší z klidových 20 – 30 ml O₂.min⁻¹.133 kPa⁻¹, což je tlakový rozdíl mezi pO₂ v alveolech a kapilárách, na hodnoty 60 – 70 ml O₂.min⁻¹.133 kPa⁻¹ (Heller et. al., 2011).

5.2 Příjem kyslíku a výdej energie:

Ze začátku cvičení je hlavně zapojen aerobní metabolismus, toto je popsáno jako kyslíkový deficit. Zatímco kvalifikace celkového anaerobního energetického výdeje po skončení daného cvičení je popsán jako kyslíkový dluh. V podstatě, aerobní a anaerobní metabolismus je spojen do jedné interpretace energetického výdeje, kde 1 litr O₂ = 21,1 kJ, což je přibližně 5 kcal (Scott, 2005).

Po cvičení tělesné procesy se hned nevrátí do původních hodnot. Po lehkém, krátkém cvičení regenerace to netrvá dlouhou dobu, naopak původní hodnoty nastávají téměř okamžitě po dokončení. Naopak při velmi intenzivním cvičení, jako je běh na 800 m při maximálním úsilí, vyžaduje čas na regeneraci, aby se tělesné hodnoty vrátily na původní hodnoty. Jak rychle jedinec je schopen zregenerovat, záleží na specifických metabolických a fyziologických procesech během cvičení a po dokončení cvičení (McArdle et. al., 2006).

Tabulka 5 – Odhad procentuálního zastoupení při regeneraci ATP u různých běžeckých disciplín (McArdle et. al., 2006):

Disciplína	Fosfokreatin (CP)	Glykogen anaerobní	Glykogen aerobní	Glukóza v krvi/ v játrech	Triacylglycerol (Tukové buňky)
100 m	50	50	-	-	-
200 m	25	65	10	-	-
400 m	12,5	62,5	25	-	-
800 m	6	50	44	-	-
1500 m	A	25	75	-	-

5000 m	A	12,5	87,5	-	-
10000 m	A	3	87	-	-
Maraton	-	-	75	5	20
Ultramaraton (80 km)	-	-	35	5	60
24-hodinový závod	-	-	10	2	88
Fotbalový zápas	10	70	20	-	-

5.3 VO₂:

VO₂ neboli maximální příjem kyslíku, je definován jako maximální kapacita plic, kardiovaskulárního systému a svalového systému příjmu, transportu a využití O₂, je obvykle měřen pomocí inkrementální aktivity na běžeckém pásu, či na rotopedu (Smirmaul, et. al., 2013).

Tabulka 6 - Kardiovaskulární fitness stanovené hodnotami VO_{2MAX} vyjádřené v ml·kg⁻¹·min⁻¹ (McArdle et. al., 2006):

Pohlaví	Věk	Slabý	Dostačující	Průměrný	Dobrý	Výborný
Muž	≤29	≤24,9	25–33,9	34–43,9	44–52,9	≥53
	30–39	≤22,9	23–30,9	31–41,9	42–49,9	≥50
	40–49	≤19,9	20–26,9	27–38,9	39–44,9	≥45
	50–59	≤17,9	18–24,9	25–37,9	38–42,9	≥43
	60–69	≤15,9	16–22,9	23–35,9	36–40,9	≥41
Žena	≤29	≤23,9	24–30,9	31–38,9	39–48,9	≥49
	30–39	≤19,9	20–27,9	28–36,9	37–44,9	≥45
	40–49	≤16,9	17–24,9	25–34,9	35–41,9	≥42
	50–59	≤14,9	15–21,9	22–33,9	34–39,9	≥40
	60–69	≤12,9	13–20,9	21–32,9	33–36,9	≥37

Kardiovaskulární fitness je úzce spojen s maximálním množstvím kyslíku spotřebovaného během každé minuty submaximální intenzity cvičení. Hodnoty VO_{2MAX} se liší podle toho jak trénovaný je daný jedinec (McArdle et. al., 2006).

5.4 Cvičení a výdej energie:

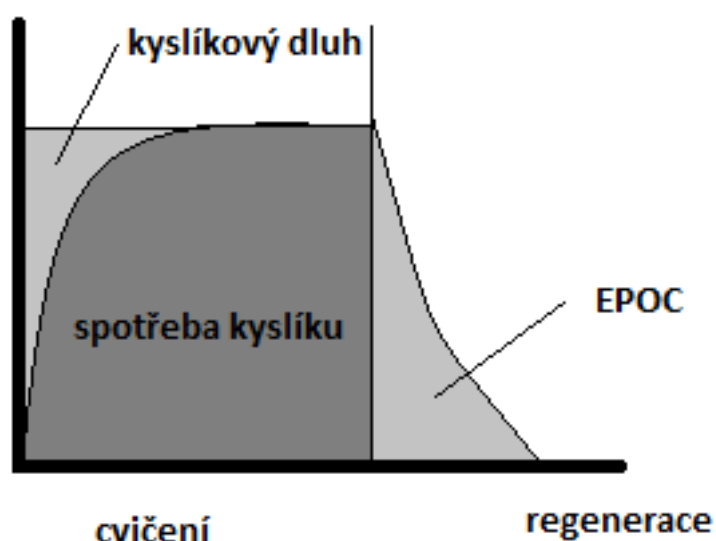
Během velice či středně těžké zátěži, adenonintrifosfát (ATP) a fosfokreatin (PC) obsažené ve svalové tkáni, jsou využívány k zisku energie. ATP a CP jsou zužitkovány během anaerobního cvičení, ale jsou zpětně syntetizovány po skončení cvičení aerobně jako *excess post-exercise oxygen consumption (EPOC)* = spotřeba kyslíku po dokončení cvičení. Takže jedna část ATP/CP obratu probíhá anaerobně a ta druhá aerobně. A hodnoty produkce tepla naměřené během intenzivního cvičení ukázaly, že anaerobní metabolismus je efektivnější než aerobní metabolismus při zvyšování celkového energetického výdeje (Scott, 2005).

5.4.1 Aerobní cvičení:

Při dlouho trvajících cvičení (jako je maraton, dálkové plavání, cyklistika, dlouhé výběhy a turistika) je důležitý trvalý příjem energie z aerobních zdrojů a pouze jen nepatrné množství energie z anaerobního zdroje (McArdle et. al., 2006).

Graf 1 – Kyslíkový dluh a EPOC během aerobního cvičení (McArdle et. al., 2006):

lehké aerobní cvičení:



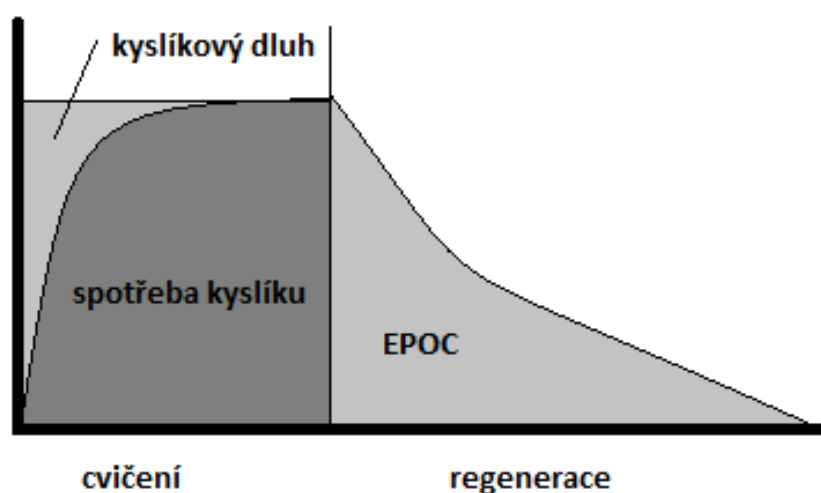
Kyslíkový dluh vzniká pouze ze začátku cvičení, tedy během doby, kdy tělo ještě není zvyklé na náhle započatou aktivitu. Tento dluh je možno splatit během pár minut po dokončení aktivity.

5.4.2 Střední až těžké aerobní cvičení:

Střední až těžké aerobní cvičení vyžaduje delší dobu k dosažení ustáleného stavu, který vytváří kyslíkový dluh (větší než u lehkého aerobního cvičení). Z čehož plyne, že po dokončení cvičení to trvá delší dobu k dosažení stavu před cvičením. Křivka spotřeby kyslíku zprvu ukazuje rychlý pokles (podobný jako u lehkého cvičení), který pak následuje pozvolným snižováním spotřeby kyslíku až na hodnoty bazálního metabolismu. Takovéto výdeje energie jsou z podstatné části zásobované aerobními zdroji energie (McArdle et. al., 2006). Po tréninku se střední aerobní intenzitou není EPOC obvykle zvýšen o více než 15 % a netrvá déle než několik hodin (Schuenke et. al., 2002).

Graf 2 – Kyslíkový dluh a EPOC během středního až těžkého aerobního cvičení (McArdle et. al., 2006):

střední až těžké aerobní cvičení:

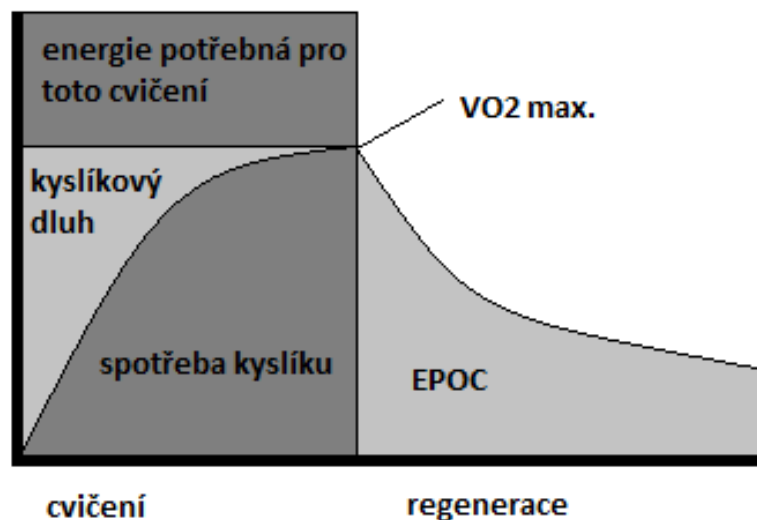


5.4.3 Intenzivní anaerobní cvičení:

Když intenzita cvičení přesahuje maximální úroveň příjmu kyslíku a laktát se se začne hromadit v krvi. S přibývajícím intenzitou, koncentrace laktátu v krvi se výrazně zvýší a jedinec provádějící danou činnost se dostane do stavu únavy krátce poté. Množství laktátu v krvi může být tedy indikátorem únavy a také doby, kterou daný jedinec potřebuje k zotavení po cvičení (McArdle et. al., 2006). EPOC je zvýšen po excentrickém tréninku až po dobu 72 hodin u trénovaných i netrénovaných jedinců (Hackney et al., 2008), EPOC je zvýšen po 24 hodin o 21 %, a po 48 hodin o 19 %. Ve studii je uvedeno, že pro 180 lb jedince to představuje 773 Kcal spálených po ukončení tréninku (Schuenke et. al., 2002).

Graf 3 – Kyslíkový dluh a EPOC během intenzivního anaerobního cvičení (McArdle et. al., 2006):

intenzivní anaerobní cvičení:



Tabulka 7 – Aerobní a anaerobní výdej energie (Scott, 2005):

Komponenty měření	Aerobní cvičení (49 % VO ₂ max)	Sprint (177 % VO ₂ max)
Kyslík spotřebovaný během cvičení (O ₂)	120 kJ	16 kJ
O ₂ + EPOC	149 kJ	165 kJ
Anaerobní část + O ₂ + EPOC	164 kJ	273 kJ
Čas strávený cvičením	210 s (3,5 min)	45 s (3 x 15 s)

Aerobní cvičení je stále považováno za nejefektivnější způsob, jak zvýšit energetický výdej. Velmi intenzivní trénink je také velmi efektivní způsob jak navýšit energetický výdej. Bylo zjištěno, že při odpočinku a po skončení tréninku, EPOC je hlavním spalovačem tukové tkáně. Proto je anaerobní cvičení velmi účinné při spalování tuků (Farinatti et al., 2012). Intenzivní cvičení, hlavně tedy posilování s vysokými váhami, zvyšuje množství svalové hmoty. Množství svalové hmoty, tedy hmoty prosté tuku, zvyšuje hodnoty bazálního metabolismu (viz kap. 3.1), které dlouhodobě zvyšují energetický výdej.

6 Závěr:

S narůstajícím počtem lidí trpících obezitou, je důležitá její prevence. Jedním z nejlepších způsobů, jak předejít obezitě, je navýšení celkového energetického výdeje. Hlavní energetický výdej těla je prostřednictvím bazálního metabolismu, který je přímo závislý na hmotnosti těla prostého tuku- tedy svalů. Navýšení svalové hmoty je možné posilováním a prováděním dynamických cvičení.

Dalším způsobem jak navýšit celkový energetický výdej je pohybová aktivita, ať je to aerobní, či anaerobní cvičení. Při provádění aerobního cvičení, energetický výdej je vyšší než při anaerobním cvičení, ale regenerace po aerobním cvičení, je mnohonásobně kratší, než regenerace po anaerobním cvičení. Všechny procesy regenerace- obnovení ATP, CP, svalového glykogenu, apod. probíhá aerobně. Energie pro tyto procesy je získána z konzumovaného jídla a pití, spalováním karbohydrátů, tuků, a případně i proteinů. Nejefektivnější je oxidování karbohydrátů (viz kap. 3.3.1), pak tuků, a nejméně efektivní je spalování proteinů.

Spalování tuků probíhá pouze aerobně, z čehož plyne, že aerobní cvičení je nejvíce efektivní ve spalování tuků. Ale při aerobním cvičení se zprvu spaluje glykogen a glukóza, až po vyčerpání těchto zdrojů dochází ke spalování tuků. Zatímco při anaerobním cvičení dochází k okamžitému vyčerpání zdrojů z glykogenu a glukózy, a při regeneraci je energie získávána spalováním tuků. Při aerobním cvičení trvá poměrně dlouhou dobu k vyčerpání glykogenu a glukózy, z čehož plyne, aby bylo aerobní cvičení opravdu efektivní ve spalování tuků, je potřeba jej dělat po dlouhou dobu. Anaerobní cvičení je daleko méně časově náročné (viz tab. 5 a tab. 7).

Z důvodu časové vytiženosti dnešní populace a také jejich životnímu stylu, je důležité využít nejefektivnější způsoby, jak zlepšit jejich životní styl a také jejich zdraví. Velmi intenzivní cvičení není příliš časově náročný a zároveň je nejvíce efektivní ve zvýšení celkového energetického výdeje, zvětšení svalové hmoty a tím i bazálního metabolismu, a spalování tuků.

Seznam tabulek:

Tabulka 1 - Klasifikace hodnot BMI (Pasco, 2014).

Tabulka 2 - Riziko kardiovaskulárních a metabolických komplikací podle obvodu pasu (Dennis et. al., 1993).

Tabulka 3 - Průměrné hodnoty tloušťky kožních řas \pm standartní odchylka (Neves et. al., 2013).

Tabulka 4 - Systém kódování (1-8) intenzit pohybových činností (Heller et. al., 2011).

Tabulka 5 - Odhad procentuálního zastoupení při regeneraci ATP u různých běžeckých disciplín (McArdle et. al., 2006).

Tabulka 6 - Kardiovaskulární fitness stanovené hodnotami VO_{2MAX} vyjádřené v $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (McArdle et. al., 2006).

Tabulka 7 - Aerobní a anaerobní výdej energie (Scott, 2005).

Seznam Grafů:

Graf 1 – Kyslíkový dluh a EPOC během aerobního cvičení (McArdle et. al., 2006).

Graf 2 – Kyslíkový dluh a EPOC během středního až těžkého aerobního cvičení (McArdle et. al., 2006).

Graf 3 – Kyslíkový dluh a EPOC během intenzivního anaerobního cvičení (McArdle et. al., 2006).

Seznam citované a použité literatury:

- Casiraghi, F., Lertwattanakarak, R., Luzi, L., Chavez, A. O., Davalli, A. M., Naegelin, T., & ...Folli, F. (2013). Energy Expenditure Evaluation in Humans and Non-Human Primates by SenseWear Armband. Validation of Energy Expenditure Evaluation by SenseWear Armband by direct Comparison with Indirect Calorimetry. *Plos ONE*, 8(9), 1-8. doi:10.1371/journal.pone.0073651.
- De, R., Ting, H., Moore, J., Gilbert-Diamond, D. (2015). Characterizing gene-gene interactions in a statistical epistasis network of twelve candidate genes for obesity. *Biodata Mining*, 81-16. doi:10.1186/s13040-015-0077-x.
- Delahanty, L. M. (2002). Evidence-Based Trends for Achieving Weight Loss and Increased Physical Activity: Applications for Diabetes Prevention and Treatment. *Diabetes Spectrum*, 15(3), 183-189. doi:10.2337/diaspect.15.3.183.
- Dennis, K. E., & Goldberg, A. P. (1993). Differential effects of body fitness and body fat distribution on risk factor for cardiovascular disease in women. Impact of weight loss. *Arterioscler Thromb*. 13(10), 1487-1494.
- Farinatti, P., Castinheiras Neto, A. G., & da Silva, N. L. (2012). Influence of Resistance Training Variables on Excess Postexercise Oxygen Consumption: A Systematic Review. *ISRN Physiology*, 2013.
- Fosbøl, Marie Ø., & Zerahn, B. (2015). Contemporary methods of body composition measurement. *Clinical Physiology & Functional Imaging*, 35(2), 81-97. doi:10.1111/cpf.12152.

- Garrido-Chamorro, R. Sirvent-Belando, J. E., Gonzáles-Lorenzo, M., Blasco-Lafarga, C., & Roche, E. (2012). Skinfold Sum: Reference Values for Top Athletes. *International Journal of Morphology*, 30(3), 803-809.
- Hackney, K. J., Engels, H. J., & Gretebeck, R. J. (2008). Resting energy expenditure and delayed-onset muscle soreness after full-body resistance training with an eccentric concentration. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(5), 1602-1609.
- Hainer, Vojtěch. *Základy klinické obezitologie*. 2., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3252-7.
- Hargreaves, M. (2000). Skeletal Muscle Metabolism During Exercise in Humans. *Clinical & Experimental Pharmacology & Physiology*, 27(3), 225.
- Heller, J., & Vodička, P. (2011). Praktická cvičení z fyziologie tělesné zátěže (1. vyd.). Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-1976-7.
- Henry, C. (2000). Mechanismus of changes in basal metabolism during ageing. *European Journal of Clinical Nutrition*, 54(6), S77-S91.
- Hill, J. O., Wyatt, H. R., & Peters, J. C. (2013). The importance of Energy Balance. *European Endocrinology*, 9(2), 111-115.
- Jančík, J., Závodná, E., & Novotná, M. (2006). Fyziologie tělesné zátěže – vybrané kapitoly. *Fakulta sportovních studií MU tech. Spolupráce: Servisní středisko pro podporu e-learningu na MU, Brno 2006*. <http://is.muni.cz/do/1499/el/estud/fsps/js07/fyzio/texty/ch02s02.html#d0e203>.
- Kogelman, L. A., Zhernakova, D. V., Westra, H., Cirera, S., Fredholm, M., Franke, L., & Kadarmideen, H. N. (2015). An integrative systems genetics approach reveals potential

- causal genes and pathways related to obesity. *Genome Medicine*, 71-15. doi:10.1186/s13073-015-0229-0.
- Lukaski, H. C. (1987). Methods for the assesment of human body composition: traditional and new. *The American journal of clinical nutrition*, 46(4), 537-556.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2006). *Essentials of exercise physiology*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Moon, J. R. (2013). Body composition in athletes and sports nutrition: an examination of the bioimpedance analysis technique. *European Journal Of Clinical Nutrition*, 67S54-S59. doi:10.1038/ejcn.2012.165.
- Neves, E. B., Ripka, W. L., Ulbricht, L., & Stadnik, M. W. (2013). Comparison of the fat percentage obtained by bioimpedance, ultrasound and skinfolds in young adults. *Scielo Brazil*. Vol. 19, n. 5, pp.323-327. ISSN 1517-8692.
- Pasco, J. A., Holloway, K. L., Dobbins, A. G., Kotowicz, M. A., Williams, L. J., & Brennan, S. L. (2014). Body mass index and measures of body fat for defining obesity and underweight: a cross-sectional, population-based study. *BioMed Central Ltd*. 2014. doi:10.1186/2052-9538-1-9.
- Rojano-Rodriguez, M., Beristain-Hernandez, J., Zavaleta-Villa, B., Maravilla, P., Romero-Valdovinos, M., & Olivo-Diaz, A. (2016). Leptin receptor gene polymorphism and morbid obesity in Mexican patients. *Hereditas*, 153(2), 1-5. doi:10.1186/s41065-016-0006-0.
- Schuenke, M. D., Mikat, R. P., & McBride, J. M. (2002). Effect of an acute period of resistance exercise on excess post-exercise oxygen consumption: implications for body mass management. *Eur. J. Appl. Physiol*. 86(5), 411-417. doi:10.1007/s00421-001-0568-y.

- Scott, C. B. (2005). Contribution of anaerobic energy expenditure to whole body thermogenesis. *Nutrition & metabolism*, 2(1), 1.
- Scott, C. B. (2005). Misconception about aerobic and anaerobic energy expenditure. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2(2), 32-37.
- Smirmaul, B. C., Bertucci, D. R., & Teixeira, I. P. (2013). Is the VO₂max that we measure really maximal?. *Frontiers In Physiology*, 31-4. doi:10.3389/fphys.2013.00203.
- Tambe, D. B., Phadke, A. V., Kharche, J. S., & Joshi, A. R. (2010). Correlation of blood pressure with Body Mass Index (BMI) and Waist to Hip Ratio (WHR) in middle aged men. *Internet Journal Of Medical Update*, 5(2), 26-30.
- Tsigos, C., Hainer, V., Basdevant, A., Finer, N., Fried, M., Mathus-Vliegen, E., . . . Zahorska-Markiewicz, B. (2008). Management of Obesity in Adults: European Clinical Practice Guidelines. *Obesity Facts Obes Facts*, 1(2), 106-116. Retrieved May, 2008.
- Turconi, G., Guarcello, M., Maccarini, L., Bazzano, R., Zaccardo, A., & Roggi, C., (2006). BMI values and other anthropometric and functional measurements as predictors of obesity in a selected group of adolescents. *European Journal Of Nutrition*. 45(3), 133-143. doi:10.1007/s00394-005-0571-x.
- Wiltink, J., Michal, M., Wild, P. S., Zwiener, I., Blettner, M., Münzel, T., & ... Beutel, M. E. (2013). Associations between depression and different measures of obesity (BMI, WC, WHtR, WHR). *BMC Psychiatry*, 13(1), 1-7. doi:10.1186/1471-244X-13-223.
- Zápotocká, H. (2011). *Neuronální okruhy příjmu potravy jako možný cíl terapie antiobezitiky* (Unpublished master's thesis). Universita Karlova v Praze Farmaceutická fakulta v Hradci Králové.